第 27 卷 第 1 期 腐蚀科学与防护技术 Vol.27 No.1
2015年1月 CORROSION SCIENCE AND PROTECTION TECHNOLOGY Jan. 2015

钢接地体在降阻剂中腐蚀速率测量方法的研究

张秀丽[1] 马 茜[2] 王应高[1] 黄治娟[2] 赵蓓蕾[3]

1. 华北电力科学研究院有限责任公司 北京 100045;
2. 华北电力大学环境科学与工程学院 保定 071003;
3. 云南国土资源职业学院 昆明 652501

摘要:采用电化学线性极化和电感测量技术测量了碳钢电极在降阻剂中的腐蚀速率,分析了腐蚀速率随降阻剂凝固时间的变化规律。通过电化学和电感法测量的腐蚀速率与失重法测量的腐蚀速率的比对分析,研究了电化学和电感方法测量降阻剂腐蚀性的准确性。结果表明,采用电化学方法测量降阻剂腐蚀性时,测量时间不能小于降阻剂的凝固时间,否则测量数据偏高。电化学线性极化和电感测量技术是快速测量降阻剂腐蚀性的有效方法。

关键词:降阻剂 接地网 腐蚀速率 线性极化 电感

中图分类号:TG174 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-6495(2015)01-0069-04

Measurement Methods for Corrosion Rate of Steel Grounding Conductor in Resistance Reducing Agent

ZHANG Xiuli[1], MA Qian[2], WANG Yinggao[1], HUANG Zhijuan[2], ZHAO Beilei[3]

1. North China Electric Power Research Institute Co. Ltd., Beijing 100045, China;
2. School of Environmental Science and Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;
3. Yunnan Land and Resources Vocational College, Kunming 652501, China

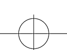
Abstract: Corrosion rates of carbon steel electrodes in resistance reducing agents (RRA) were measured by means of methods of electrochemical linear polarization and inductance probe respectively. The acquired data were compared with those measured by mass loss methods by the same test condition. The results indicate that the accurate corrosion rate can be acquired by electrochemical means only when the measurement was performed at a time after the entire cure of the RRA, otherwise the given corrosion rate would be higher; both methods of the electrochemical linear polarization and inductance probe are effective and fast means to evaluate the corrosivity of RRA in the practice.

Key words: resistance reducing agent, steel grounding conductor, corrosion rate, linear polarization, electromagnetic induction

1 前言

降阻剂是一种降阻的辅助性材料,通过敷设(浇筑)在接地装置中的接地体周围,扩大与接地极的接触面积,而达到降阻的目的。降阻剂目前已广泛应用于电力工程,但因其配方不同,导致了降阻的同时对接地网造成不同程度的腐蚀[1-6],为了保护地网中的接地体不受接地降阻剂的腐蚀,降阻剂在使用前应进行腐蚀检测,要求钢接地体的平均腐蚀率

定稿日期:2014-06-18
作者简介:张秀丽,女,1963年生,博士,教授级高级工程师
通讯作者:张秀丽,E-mail: zhangxiulili@sina.com,研究方向为热力设备的腐蚀与防护
DOI: 10.11903/1002.6495.2014.136



应小于0.03 mm/a。降阻剂对金属接地体的腐蚀试验方法，目前主要参照行业标准[7,8]实验方法进行，均采用传统的失重法测量降阻剂对金属接地体的腐蚀速率。测定金属腐蚀速度的失重法虽然经典，但其实验周期长，需要做多组平行实验且操作麻烦，满足不了降阻剂用户快速简便测量其对金属的腐蚀速率或筛选降阻剂的要求。

极化阻力技术在快速测定各种金属/电解质体系在各种条件下的瞬时腐蚀速度方面独具优点，是目前国内外最常用的金属腐蚀快速测试方法之一[9]。接地体在降阻剂中的腐蚀属于电化学腐蚀，电化学线性极化技术是测量其腐蚀速率最合理和有效的方法[10]。樊雄伟等[11]应用电化学线性极化技术测量了接地降阻剂腐蚀性能，但其测量结果误差非常大，是失重法测量结果的4~10倍。

降阻剂分为物理降阻剂和化学降阻剂两种类型，随着化学降阻剂逐渐淘汰，目前工程中使用的绝大多数为物理降阻剂。物理降阻剂的导电材料是非电解质的固体粉末，另外加入强碱弱酸作为胶凝物，增大对金属的亲合力。物理降阻剂一般以石墨、火山灰、膨润土为主体，pH值在7~12之间，有良好的吸水保水性，能够与水溶解。

本研究利用电化学线性极化测量技术，测量接地体金属在降阻剂中的腐蚀速率随降阻剂凝固时间变化曲线[12]，研究了接地体金属在降阻剂中的腐蚀速率随凝固时间的变化规律，研究并确定接地体在降阻剂中腐蚀速率达到稳定值的时间，从而确定了采用电化学技术测量降阻剂对接地体腐蚀速率时，所需要的时间。

此外本文还采用电感测量方法测量了降阻剂的腐蚀性，探讨了电感法测量降阻剂腐蚀性的可行性[13,14]。采用经典的失重法测量了降阻剂对接地体的腐蚀速率，以此数据为基准，分析了电感和电化学测量数据的准确性。

2 实验方法

本实验选择了两种降阻剂，1号降阻剂主要成分为膨润土和石墨；2号降阻剂主要成分为石墨、保湿剂等。

采用CMB2510-A电化学测量仪器测量了碳钢电极在降阻剂的腐蚀速率。该仪器采用线性极化技术测量体系的极化电阻 R_P，按 $I_{corr}=B/R_P$ 估算出腐蚀电流 I_{corr}，Tafel常数 B 随体系不同而变化，其范围在8.7~52 mV之间，为解决 B 值估算的误差，CMB2510A通过弱极化区测得的极化电流值计算出Tafel常数 B 值，由此求得的腐蚀电流更接近于实际值。极化电阻的测量数值中还包括介质电阻，由极化电阻计算腐蚀速率时，应从测量的极化电阻值中减去介质电阻。

采用带有自补偿精密电感探针的CR-1000腐蚀在线监测系统，检测了碳钢电极在降阻剂中的腐蚀速率。

电感探针顶部的腐蚀试片材质与接地网材质相同，为20#碳钢。测量时，将探头垂直插入至与水按比例配置好的降阻剂中，保证探针完全被降阻剂包裹，与空气无接触；连接自补偿精密电感探针数据采集器的采集端口和通讯端口，用在线监测软件设定测量时间间隔等测量参数。

3 结果与讨论

3.1 弱腐蚀性降阻剂的电化学和电感

图1所示为碳钢电极在1号降阻剂中的腐蚀速率 (v) 随降阻剂凝固时间 (t) 的变化曲线。从图中可以看出，在接地体接触降阻剂的初期，腐蚀速率一般很高，但随着降阻剂的凝固，腐蚀速率逐渐下降，并趋于稳定，腐蚀速率基本保持在0.033 mm/a左右，该稳定值表征了接地体工作期间的腐蚀速率。该稳定值对应的降阻剂凝固时间约为48 h，在降阻剂接触测量电极的初期，测量的腐蚀速率的平均值将高于接地体工作期间的腐蚀速率，这表明，采用电化学方法测量降阻剂腐蚀性时，测量时间不能小于降阻剂的凝固时间，否则测量数据偏高，测量1号降阻剂的腐蚀速率时，测量时间不能小于48 h，否则测量数据将高于接地体工作期间的腐蚀速率。

对比分析电感法和电化学方法测量的 v-t 曲线，可以看出电化学测量的腐蚀速率与电感法的测量值非常接近，这说明电化学线性极化法可以准确测量降阻剂的腐蚀性。

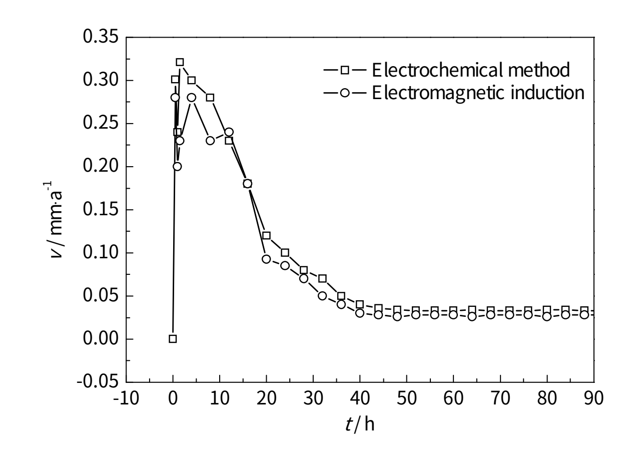


图1 碳钢电极在1号降阻剂中的腐蚀速率-凝固时间曲线

Fig.1 Corrosion rate-time curves of carbon steel electrodes in resistance reducing agent 1

3.2 强腐蚀性降阻剂的电化学

图 2 所示为碳钢电极在 2 号降阻剂中的 v-t 曲线。从图中可以看出，在接地体接触降阻剂的初期，腐蚀速率比较低，随时间变化而增大，但随后随着降阻剂的凝固，腐蚀速率逐渐下降，并趋于稳定，腐蚀速率基本保持在 1.64 mm/a 左右，该稳定值表征了接地体工作期间的腐蚀速率，该稳定值对应的降阻剂凝固时间约为 52 h。在降阻剂接触测量电极的初期，测量的腐蚀速率的平均值将高于接地体工作期间的腐蚀速率，这表明，采用电化学方法测量降阻剂腐蚀性时，测量时间不能小于降阻剂的凝固时间，否则测量数据偏高。测量 2 号降阻剂的腐蚀速率时，测量时间不能少于 52 h，否则测量数据将高于接地体工作期间的腐蚀速率。

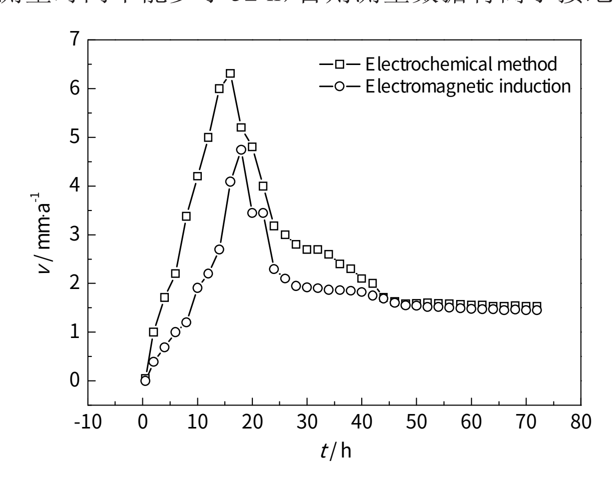


图 2 碳钢电极在 2 号降阻剂中的腐蚀速率-凝固时间曲线

Fig.2 Corrosion rate-time curves of carbon steel electrodes in resistance reducing agent 2

对比分析电感法和电化学方法测量的 v-t 曲线，可以看出电化学测量的腐蚀速率与电感法的测量值非常接近，这说明电化学线性极化法可以准确测量降阻剂的腐蚀性。

3.3 降阻剂腐蚀性的失重法

为了评价电感法和电化学线性极化法测量降阻剂对接地体腐蚀速率的准确性，本研究采用经典的失重法测量了碳钢电极在 1 号和 2 号降阻剂中的腐蚀速率。

3.3.1 碳钢试片在 1 号降阻剂中的失重腐蚀实验　1 号降阻剂主要成分为膨润土和石墨，腐蚀性较小。观察失重腐蚀实验的腐蚀试片，发现实验前试片表面光滑平整，实验后试片表面局部有灰黑色腐蚀产物，机械清洗试片后产物生成处稍微凹陷，试片光泽度略有减小。失重法测量的腐蚀速率数据见表 1，表中数据表明，失重法腐蚀速率平均值为 0.0269 mm/a，与电化学测量值 0.033 mm/a 比较接近，说明电化学方法在测量腐蚀性较小的降阻剂时准确度比较高。

3.3.2 碳钢试片在 2 号降阻剂中的失重腐蚀实验　2 号降阻剂主要成分为石墨、保湿剂等，腐蚀性大。观察试片，发现实验前试片表面光滑平整，实验后试片表面几乎整体被黑色和红棕色的腐蚀产物所覆盖，用化学、机械手段清洗试片后产物生成处明显凹陷，试片光泽度大大减小，几近全无。失重法测量的腐蚀速率数据见表 2，表中数据表明，

表 1 碳钢试片在 1 号降阻剂中的失重腐蚀实验结果

Table 1 Results of corrosion mass loss test of carbon steel specimens in resistance reducing agent 1

Number of sample	Surface area mm^2	Mass before corrosion / g	Mass after removing corrosion products / g	Mass loss g	Time d	Corrosion rate mm/a
1	2874.9768	25.3388	25.2386	0.1002	60	0.027
2	2857.2184	25.3842	25.2920	0.0922	60	0.025
3	2851.0190	24.9900	24.8870	0.1030	60	0.028
4	2864.3567	25.5238	25.4240	0.0998	60	0.027
5	2870.3611	25.4276	25.3276	0.1000	60	0.027
6	2869.6707	25.6260	25.5297	0.0963	60	0.026
7	2866.4942	25.2154	25.1081	0.1073	60	0.029
8	2845.0878	25.0560	24.9642	0.0918	60	0.025
9	2871.3630	25.3879	25.2804	0.1075	60	0.029
10	2880.4836	25.4410	25.3444	0.0966	60	0.026

表2 碳钢试片在2号降阻剂中的失重腐蚀实验结果

Table 2 Results of corrosion mass loss test of carbon steel specimens in resistance reducing agent 2

Number of Sample	Surface area mm^2	Mass before corrosion / g	Mass after removing corrosion products / g	Mass loss g	Time d	Corrosion rate mm/a
1	2885.8674	25.6213	19.4023	6.2190	60	1.67
2	2860.3465	25.3171	19.4115	5.9056	60	1.60
3	2857.7001	25.7280	20.7866	4.9414	60	1.34
4	2875.3716	26.0913	21.3791	4.7122	60	1.27
5	2912.1507	26.0092	20.1469	5.8623	60	1.56
6	2848.7567	25.7154	19.4661	6.2493	60	1.70
7	2862.1285	25.9559	19.5665	6.3894	60	1.73
8	2862.1541	25.8008	20.1130	5.6878	60	1.54
9	2859.6350	25.9474	20.9658	4.9816	60	1.35
10	2885.8674	25.9097	20.8079	5.1018	60	1.37

失重法腐蚀速率平均值为1.51 mm/a，与电化学测量值1.64 mm/a、电感测量数据1.629 mm/a相比，说明电化学方法和电感测量值比较准确，电化学方法和电感法在测量腐蚀性较强的降阻剂时准确度比较高。

4 结论

(1) 电化学线性极化和电感测量技术可以快速准确测量降阻剂对接地体的腐蚀速率。

(2) 在接地体接触降阻剂的初期，腐蚀速率一般很高，但随着降阻剂的凝固，腐蚀速率逐渐下降，并趋于稳定，该稳定值表征了接地体工作期间的腐蚀速率。

(3) 测量降阻剂对接地体材料的腐蚀速率时，测量时间不能小于降阻剂的凝固时间，否则测量数据偏高。

参考文献

[1] 刘政超. 化学降阻剂不应使用 [J]. 电网技术, 1998, 22(9): 35

[2] 李天鹏, 高欣宝. 化学降阻剂在山地环境中的应用研究 [J]. 装备环境工程, 2007, 4(4): 62

[3] 金祖山, 张永跃. 降阻剂降阻效果和防腐蚀性能对比试验研究 [J]. 浙江电力, 2005, (3): 24

[4] 李素芳, 陈宗璋, 彭敏放等. 接地网的腐蚀分析与防腐技术 [J]. 内蒙古电力技术, 2003, 21(2): 9

[5] 梁伟, 王辉, 翟明翰. 接地网设计与施工中合理使用降阻剂的研究 [J]. 水电能源科学, 2009, 27(3): 211

[6] 胡毅, 王力农, 郑传广. 送电线路接地装置采用降阻剂的防腐问题分析 [J]. 高电压技术, 2004, 30(7): 17

[7] DL/T380—2010, 接地降阻材料技术条件 [S]

[8] QX/T104—2009, 接地降阻剂 [S]

[9] 邹妍, 王佳, 郑莹莹. 电化学方法研究锈层覆盖下碳钢的腐蚀规律 [J]. 中国腐蚀与防护学报, 2011, 31(2): 91

[10] 陈小芹, 谢志刚, 张江涛. 电化学方法在评价材料性能方面的应用 [J]. 腐蚀科学与防护技术, 2007, 27(1): 42

[11] 樊雄伟, 张珂. 一种接地降阻剂腐蚀性能快速检测方法 [J]. 广西电力, 2012, 35(2): 31

[12] 曹楚南. 由弱极化曲线拟合估算腐蚀过程的电化学动力学参数 [J]. 中国腐蚀与防护学报, 1985, 5(3): 155

[13] 黄锦绣, 王新凯, 呼立红等. 片状电感探针研制及其在乙烯装置的应用 [J]. 石油化工腐蚀与防护, 2008, 5(4): 52

[14] 李普芳, 田一兵, 商莉. 腐蚀监测技术在锦西石化南蒸馏塔顶系统的应用 [J]. 腐蚀科学与防护技术, 2011, 23(2): 179

